

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

W1410

Patent number: JP2001093459
Publication date: 2001-04-06
Inventor: UEDA KAZUHIRO; KAJI KAZUTOSHI; AOYAMA TAKASHI; TAYA TOSHIMICHI;
ISAGOZAWA SHIGETO
Applicant: HITACHI LTD
Classification:
- international: H01J37/28; H01J37/147; H01J37/22
- european:
Application number: JP19990267355 19990921
Priority number(s):

[View INPADOC patent family](#)

Abstract of JP2001093459

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a scanning transmission type electron microscope which can get a mapping image of an element at real time without discrepancy in energy near the field of vision and without cutting of the field of vision even at a low magnification.

SOLUTION: In a scanning transmission type electron microscope comprising an electron beam source 1, a scanning coil 3, an object lens 4, an image focus lens 8, an electronic spectral equipment 11, an energy slit 14, and a mapping detector 15, a swing-back coil 7 is provided so as to scan the electron beam by the scanning coil 3. Therefore, a moving amount 19 of an electron beam which appears in the electron beam at a position of the energy slit 14 is set off and decreased by a deflection of the electron beam owing to the swing-back coil 7, computations of outputs of the mapping detector 15 are executed one after another in synchronism with the scanning of the electron beam by the scanning coil 3, then displayed as pictures. Therefore, decrease in an energy drift of spectrum accompanied by a scanning of the electron beam becomes small when getting a mapping image of an element of a low magnification at real time, and discrepancy in energy of the mapping image of the element and restriction of the field of vision can be prevented.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-93459

(P2001-93459A)

(43) 公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テーマコード*(参考) |
|---------------------------|-------|---------------|-------------|
| H 0 1 J 37/28 | | H 0 1 J 37/28 | C 5 C 0 3 3 |
| 37/147 | | 37/147 | B |
| 37/22 | 5 0 2 | 37/22 | 5 0 2 H |

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-267355

(22) 出願日 平成11年9月21日 (1999.9.21)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 上田 和浩

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 鍛示 和利

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 100078134

弁理士 武 顕次郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査透過型電子顕微鏡

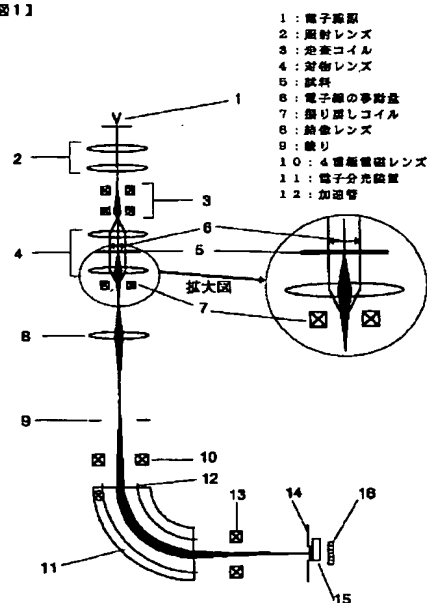
(57) 【要約】

【課題】 実時間で元素マッピング像を取得できる走査透過型電子顕微鏡において、低倍率でも視野周辺でエネルギーずれや視野カットの無い元素マッピング像が得られる走査透過型電子顕微鏡を提供すること。

【解決手段】 電子線源1と走査コイル3、対物レンズ4、結像レンズ8、電子分光装置11、それにエネルギースリット14とマッピング検出器15を備えた走査透過型電子顕微鏡において、振り戻しコイル7を設け、走査コイル3により電子線を走査したことにより、エネルギースリット14の位置で電子線に現れる電子線の移動量19を、振り戻しコイル7による電子線の偏向により相殺して低減し、マッピング検出器15の出力の演算処理を走査コイル3による電子線の走査に同期して逐次実行させ、画像表示するようにしたもの。

【効果】 低倍率の元素マッピング像を実時間で取得する際に、電子線走査に伴うスペクトルのエネルギードリフトを低減が小さくなり、元素マッピング像のエネルギーずれや視野制限が生じないようにできる。

【図1】



13: 4 電極型大電磁レンズ
14: エネルギースリット

15: マッピング検出器
16: スペクトル検出器

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子線源から試料に照射される電子線を電子線走査手段により走査し、試料から透過された電子線を電子分光手段とエネルギースリットによりエネルギー分析して電子線検出手段に入力することにより、電子線エネルギーを階調化して画像表示する方式の透過型電子顕微鏡において、

前記試料と前記電子分光手段の間に配置した振り戻し走査手段と、

前記電子線検出手段の出力に対して画像表示に必要な演算処理を施す演算手段とを設け、

該振り戻し走査手段を前記電子線走査手段と同期して動作させることにより、前記エネルギースリット位置に前記試料の電子線による走査に伴って現れる電子線の光軸からの移動を相殺して低減させ、

前記演算手段による演算処理を、前記試料の電子線による走査に同期して逐次実行させるように構成したことを特徴とする透過型電子顕微鏡。

【請求項2】 請求項1に記載の発明において、前記電子線検出手段は、少なくとも2チャンネルのエネルギースリット位置を有し、2種類以上の異なったエネルギーの電子線強度に応じた出力を発生するように構成されていることを特徴する走査透過型電子顕微鏡。

【請求項3】 請求項1に記載の発明において、前記振り戻し走査手段は、1段又は複数段の偏向コイルで構成され、電子線の経路内の対物レンズと投影レンズ又は中間レンズの間に配置されていることを特徴とする走査透過型電子顕微鏡。

【請求項4】 請求項1に記載の発明において、前記振り戻し走査手段は、1段又は複数段の偏向コイルで構成され、電子線の経路内の投影レンズ又は中間レンズと前記電子分光手段の間に配置されていることを特徴とする走査透過型電子顕微鏡。

【請求項5】 請求項1に記載の発明において、前記振り戻し走査手段は、電子線の光軸を法線とする面で直交するX軸とY軸の2軸方向に電子線の偏向が可能で、前記2軸が、前記電子線走査手段による走査方向のX軸、Y軸と一致するように、前記面内で回転可能に構成されていることを特徴とする走査透過型電子顕微鏡。

【請求項6】 請求項2に記載の発明において、前記電子線検出手段の出力が、高ロスエネルギー電子線強度と低ロスエネルギー電子線強度の2種類の電子線強度出力であり、

前記演算手段による演算処理が、前記2種の電子線強度出力について暗電流補正と感度補正を施す演算処理と、前記高ロスエネルギー電子線強度出力を分子、前記低ロスエネルギー電子線強度出力を分母として除算する演算

処理の少なくとも2種の演算処理であることを特徴とする走査透過型電子顕微鏡。

【請求項7】 請求項2に記載の発明において、前記電子線検出手段の出力が、1種類の高ロスエネルギー電子線強度と2種類の低ロスエネルギー電子線強度の計3種類の電子線強度出力であり、

前記演算手段による演算処理が、前記2種の電子線強度出力について暗電流補正と感度補正を施す第1の演算処理と、前記2種類の低ロスエネルギー電子線強度出力に基いて高ロスエネルギー電子線強度のバックグラウンドを演算する第2の演算処理、それに、前記高エネルギー電子線強度から前記バックグラウンドを減算する第3の演算処理の少なくとも3種類の演算処理であることを特徴とする走査透過型電子顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子顕微鏡に係り、特に電子線分光手段を備えた走査透過型電子顕微鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】微小領域の観察方法として、従来から電子顕微鏡が良く知られているが、これには、大別して、走査型電子顕微鏡(SEM:Scanning Electron Microscope)、透過型電子顕微鏡(TEM:Transmission Electron Microscope)、走査透過型電子顕微鏡(STEM:Scanning Transmission Electron Microscope)があり、ナノメートルレベルの空間分解能を有しているのはTEMとSTEMである。

【0003】ここで、TEMは、試料にはほぼ平行に電子線を照射し、透過した電子線をレンズなどで拡大する装置であり、次にSTEMは、試料上の微小領域に電子線を収束し、電子線を試料上で2次元に走査しながら透過した電子線の強度を測定し、2次元画像を取得する装置である。

【0004】ところで、これらTEM及びSTEMで検出される透過電子の強度は、電子が透過した部分の平均原子番号と相関があり、このため原子番号が近い元素で構成された薄膜や、平均原子番号が近いシリコン酸化膜とシリコン窒化膜などの試料は識別することができない。

【0005】一方、試料が金属膜の場合、蛍光X線分析を用いて2次元像を取得する方法により識別が可能になるが、しかし、検出される蛍光X線強度が弱いので、2次元像を得るには長い測定時間が必要となる。また、この蛍光X線分析は軽元素の分析には適していないため、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜などの識別は困難である。

【0006】そこで、これらの問題を解決する分析方法として、電子分光器を用い、試料を透過した電子のエネルギーにより試料をスペクトル分析するようにした電子

エネルギー損失分光法(EELS: Electron Energy Loss Spectroscopy)がある。

【0007】この方法は、電子が試料を透過する際、試料を構成する元素(電子構造)固有のエネルギーによる損失を受けることを利用したものであり、従って、このように元素固有のエネルギー損失を受けた電子により2次元像を得るようにした分析方法は、特にEF-TEM(Energy Filtering-TEM)法と呼ばれている。

【0008】ところで、このEF-TEM法の1種に、パラレル検出型の電子エネルギー損失分光器(Parallel detection Electron Energy Loss Spectrometer:PEELS)をSTEMに組み合わせた方法があり、EF-STEMと呼ばれている。

【0009】ここで、PEELSとは、扇型の磁場セクターを電子分光器とし、その前後に4重極レンズを配置し、最下流にマルチチャンネルプレートアレイによるパラレル電子線検出器を持つ構造のもので、このとき、その4重極レンズは、EELSスペクトルのフォーカスの調整と、EELSスペクトルの拡大に用いられる。

【0010】そして、電子エネルギー損失スペクトルは、電子分光器で分光された電子線スペクトルを4重極拡大レンズで拡大してパラレル電子線検出器に投影して測定するのである。なお、更に6重極レンズを配置する場合もあるが、この場合、その6重極レンズは、検出器に投影されるEELSスペクトルの収差を低減するために用いられる。

【0011】ここで、従来技術によるEF-STEMについて、図3の概念構成図により説明する。この図3において、電子線源1により発生された電子線は、照射レンズ2と走査コイル3を介して対物レンズ(レンズ系)4に入射され、細い平行電子線として試料5に照射される。そして、この試料5を透過した後、対物レンズ4の下流に電子線像を結ぶ。

【0012】この電子線像は結像レンズ8で拡大され、絞り9で取り込み角が制限されてから扇形の磁極を有する電子分光装置11に入射される。この扇形の磁極は、図の紙面に垂直な磁場空間を形成しているもので、ここに入射した電子線は、90度の角度まで偏向され、これによりエネルギー分析されてからマッピング検出器15とスペクトル検出器16上に投影される。

【0013】ここで、この従来技術におけるPEELSは、1段或いは数段の4重極拡大電磁レンズ13を用い、この4重極拡大電磁レンズ13と4重極電磁レンズ10の組み合わせにより、エネルギー分散方向に10～1000倍に拡大したEELSスペクトルを、エネルギースロット14を介してマッピング検出器15上にフォーカスさせて投影するようになっている。

【0014】一方、スペクトル検出器16には、チャンネル幅25 μ m、1024チャンネル構成の一般的なマルチチャンネルプレートアレイによる平面検出器が用い

られている。このとき、スペクトルの倍率は、4重極拡大電磁レンズ13の磁場の大きさによっても異なるが、0.02eV/チャンネル～2eV/チャンネル程度の範囲で可変になっている。

【0015】ここで、この電子分光装置11は、ゼロロス電子線がスペクトル検出器16の中央に来るように設計されているため、エネルギー損失した電子線のスペクトルを測定するためには、このエネルギー損失した電子線を、電子分光装置11内部に設置してある加速管12により、損失エネルギー分だけ加速して、測定するようになっており、これにより、測定したいロス電子線を、エネルギースロット14を備えた電子線検出器、つまりマッピング検出器15の中央に持ってくることができ

る。

【0016】なお、このPEELSの詳細な構造については、例えば第4,743,756号米国特許明細書や、特開平7-21966号、特開平7-21967号、特開平7-29544号の各公報に記載がある。

【0017】ところで、このような電子顕微鏡では、画像表示のため、試料面を電子線で走査するようになってるのが通例であり、図3のEF-STEMでも、走査コイル3により電子線を偏向させ、試料5の面を電子線で走査し、これによりマッピング検出器15から2次元の画像データが取得できるようにしている。

【0018】ここで、この走査コイル3は、電子線源1から電子分光装置11の入口までの間にある照射レンズ2と対物レンズ4、それに結像レンズ8の各光軸を結んでいる直線、つまり、このEF-STEMの電子光学系の光軸を法線とする面内で、直交するX軸とY軸の2軸方向に電子線を偏向することができるものである。

【0019】この走査コイル3による電子線の試料5の面上での走査のため、結像レンズ8の下流の位置でも光軸から電子線が移動し、この移動量を17とすると、これがかなり大きくなっている。この電子線の移動量17は、対物レンズ2と結像レンズ8の組み合わせにもよるが、例えば試料5の面上での電子線の移動量6の5倍から10倍にも拡大される。

【0020】また、このようなPEELSの電子光学系では、仮想光源をX軸方向に100～1000倍に拡大してマッピング検出器15とスペクトル検出器16に投影しているため、仮想光源の移動量18も、100倍から1000倍に拡大されて各検出器に投影され、従って、検出器位置での移動量19は、試料5の面上での電子線の移動量6の500倍から10000倍にも拡大される。

【0021】そこで、従来技術では、EELSスペクトル取得時に各測定点での電子線の移動量を測定し、測定終了後、計算機処理で補正し、例えば珪素、酸化珪素、窒化珪素のプラスモンロスなどの方法でコントラストを付加し、階調化された元素マッピング像を取得してい

10

20

30

40

50

た。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術は、実時間レベルでEELSスペクトルから元素マッピング像を得る点について配慮がされているとはいえず、画像表示までにかなりの時間を要してしまうという問題があった。

【0023】すなわち、従来技術では、上記したように、各測定点での電子線の移動量を測定し、測定終了後、計算機で処理する必要があるが、この補正は、これまでのような計算機では困難であり、測定に数時間を必要としているので、実時間レベルでの処理ができないという問題を生じてしまうのである。

【0024】また、実時間で元素マッピングをする場合、測定すべきエネルギーの電子線を選択するため、エネルギースリットをマッピング検出器の前に配置する。このとき、従来技術では、実時間で低倍率の元素マッピングの場合、検出器上での電子線の移動量が大きいため、測定すべきエネルギーの電子線がスリットに入らなくなり、視野が狭くなるという問題もあり、このことは、同時に視野の周辺で観察している電子線のエネルギーがずれていることを意味している。

【0025】本発明は、このような従来技術の問題点を鑑みてなされたもので、実時間で広い領域の元素分布像が取得できるようにした走査透過型電子顕微鏡の提供を目的としている。

【0026】

【課題を解決するための手段】上記目的は、電子線源から試料に照射される電子線を電子線走査手段により走査し、試料から透過された電子線を電子分光手段とエネルギースリットによりエネルギー分析して電子線検出手段に入力することにより、電子線エネルギーを階調化して画像表示する方式の透過型電子顕微鏡において、前記試料と前記電子分光手段の間に配置した振り戻し走査手段と、前記電子線検出手段の出力に対して画像表示に必要な演算処理を施す演算手段とを設け、該振り戻し走査手段を前記電子線走査手段と同期して動作させることにより、前記エネルギースリット位置に前記試料の電子線による走査に伴って現れる電子線の光軸からの移動を相殺低減させ、前記演算手段による演算処理を、前記試料の電子線による走査に同期して逐次実行させるようにして達成される。

【0027】また、ここで、前記電子線検出手段は、少なくとも2チャンネルのエネルギースリット位置を有し、2種類以上の異なったエネルギーの電子線強度に応じた出力を発生するようにしても上記目的を達成することができる。

【0028】同じく、ここで、前記振り戻し走査手段は、1段又は複数段の偏向コイルで構成され、電子線の経路内の対物レンズと投影レンズ又は中間レンズの間に

配置されているようにしても上記目的を達成することができる。

【0029】更に、ここで、前記振り戻し走査手段は、1段又は複数段の偏向コイルで構成され、電子線の経路内の投影レンズ又は中間レンズと前記電子分光手段の間に配置されているようにしても上記目的を達成することができる。

【0030】また、ここで、前記振り戻し走査手段は、電子線の光軸を法線とする面内で直交するX軸とY軸の2軸方向に電子線の偏向が可能で、前記2軸が、前記電子線走査手段による走査方向のX軸、Y軸と一致するように、前記面内で回転可能にしても上記目的を達成することができる。

【0031】更に、ここで、前記電子線検出手段の出力が、高ロスエネルギー電子線強度と低ロスエネルギー電子線強度の2種類の電子線強度出力であり、前記演算手段による演算処理が、前記2種の電子線強度出力について暗電流補正と感度補正を施す演算処理と、前記高ロスエネルギー電子線強度出力を分子、前記低ロスエネルギー電子線強度出力を分母として除算する演算処理の少なくとも2種の演算処理となるようにしても上記目的を達成することができる。

【0032】更にまた、ここで、前記電子線検出手段の出力が、1種類の高ロスエネルギー電子線強度と2種類の低ロスエネルギー電子線強度の計3種類の電子線強度出力であり前記演算手段による演算処理が、前記2種の電子線強度出力について暗電流補正と感度補正を施す第1の演算処理と、前記2種類の低ロスエネルギー電子線強度出力に基いて高ロスエネルギー電子線強度のバックグラウンドを演算する第2の演算処理、それに、前記高エネルギー電子線強度から前記バックグラウンドを減算する第3の演算処理の少なくとも3種類の演算処理となるようにしても上記目的を達成することができる。

【0033】

【発明の実施の形態】以下、本発明による走査透過型電子顕微鏡について、図示の実施の形態により詳細に説明する。図1は、本発明による走査透過型電子顕微鏡の一実施形態で、図において、7は振り戻しコイルであり、その他の構成は、図3で説明した従来技術によるEF-STEMと同じである。

【0034】振り戻しコイル7は、電子線源1から電子分光装置11の入口までの間にある照射レンズ2と対物レンズ4、それに結像レンズ8の各光軸を結ぶ直線、つまりこの走査透過型電子顕微鏡の電子光学系の光軸を法線とする面内で、直交するX軸とY軸の2軸方向に電子線を偏向する振り戻し走査手段として働くもので、且つ、この振り戻しコイル7による偏向軸のX軸とY軸が、走査コイル3による電子線の偏向軸におけるX軸、Y軸と夫々一致するようにして設けてある。

【0035】次に、この実施形態の動作について説明す

る。電子線源1で発生した電子線は、照射レンズ2により細い平行電子線にされ、対物レンズ4により試料5の面上にフォーカスされるが、このとき、走査コイル3により電子線が偏向され、試料5の面上を走査する。そして、試料5を透過した電子線は対物レンズ4により収束され、下流に電子線による実像と回折像を形成する。

【0036】このとき、走査コイル3による電子線の走査のため、上記したように、電子線の角度が変化してしまう。そこで、この実施形態では、図示のように、対物レンズ4の下流に形成される回折像の近くに、振り戻しコイル7を設置し、走査コイル3による電子線の走査と同期して、この振り戻しコイル7により電子線を偏向し、走査コイル3により電子線が走査されたことによる電子線の角度の変化を打ち消し、対物レンズ4の下流で電子線の角度が変化しないようにしたものである。

【0037】これにより、対物レンズ4のフォーカス位置にも依存するが、対物レンズ4の下流での電子線の移動量を、従来技術における電子線の移動量の10%以下に低減させることができる。具体的には、試料5の位置での走査範囲が0.75 μ m、対物レンズ4による拡大倍率が20倍程度の場合、従来技術では、対物レンズの下流で15 μ m移動していたが、この実施形態では、振り戻しコイル7により、1 μ m程度に低減できる。

【0038】対物レンズ4の下流での像は、結像レンズ8により0.5倍にされるため、この結像レンズ8の下流での電子線の移動量(図3における17)は0.5 μ m程度となる。ここで、この実施形態では、EELSを、エネルギー分散が0.1eV/25 μ mにして用いているので、スペクトルの拡大率は、分散方向では150倍、分散方向と垂直な方向では0.4倍になっている。従って、従来技術では、検出器位置で1.125mmもあったスペクトルの移動が、この実施形態では、75 μ m程度の移動に抑えることができた。

【0039】次に、この実施形態による元素マッピング像の取得動作について説明する。これには、エネルギースリット14を有するマッピング検出器15と、スペクトル検出器16の双方を用いる。

【0040】具体的には、最初はマッピング検出器15とエネルギースリット14を除き、スペクトル検出器16によりエネルギースペクトルを取る。次いで、測定すべきエネルギースペクトルのピークがスペクトル検出器16の中央に来るように、加速管12に所定の電圧を印加し、その後、スペクトル検出器16の前にマッピング検出器15とエネルギースリット14を入れ、元素マッピング像を取得する処理に入るのである。

【0041】まず、ブラズモンロスを用いてコントラストを得るようにした場合の元素マッピング像の取得について説明する。いま、ここで、対象となる元素が珪素(シリコン)と窒化珪素(窒化シリコン)、それに酸化珪素(酸化シリコン)であるとする、この場合、図4に示す

ように、珪素のブラズモンロス20のピークは17eVに出るが、窒化珪素のブラズモン21と酸化珪素のブラズモン22は、夫々23eV付近にピークを持つ。そして、同じ膜厚であれば、図示のように、窒化物のブラズモンロス21の方が、酸化物のブラズモン22よりもピーク強度が大である。

【0042】そこで、この場合、酸化物/窒化物ブラズモンロスによるコントラスト補正を用い、このためエネルギースリット幅が3eVとなるように、スリット幅が0.75mmのエネルギースリット14を用いる。このときのエネルギースペクトルに対するエネルギースリットの位置を、図4に23として示した。

【0043】上記したように、最初は、マッピング検出器15とエネルギースリット14を除いてスペクトル検出器16によりエネルギースペクトルを取り、次に測定すべきブラズモンロスピークがスペクトル検出器16の中央に来るように、加速管12に所定の電圧23Vを印加し、ここでマッピング検出器15とエネルギースリット14を入れる。

【0044】そして、マッピング検出器15の出力について、暗電流補正と感度補正など所定の処理を行った後、図示していない画像表示装置に入力し、この画像表示装置の画像表示面での2次元表示位置を、走査コイル3による電子線の走査に同期させて制御し、画像表示させると、酸化物の部分による像を中間調としてグレイ階調化された画像が得られ、このとき、図6及び図7に示すように、窒化物の部分による像は白っぽく、珪素の部分による像は黒く表示される。

【0045】ここで、図6は、従来技術の場合で、このとき、100万倍位の高倍率では、試料位置での電子線の移動量が0.1 μ m以下なので、検出器位置での移動量も150 μ mとなり、これは、エネルギースリット幅0.75mmの20%程度の移動なので、測定終了後、計算機処理で補正しなくても、実時間で図6(a)に示すように、視野全体にブラズモンによりコントラストが付けられた元素マッピング像を得ることができた。

【0046】しかし、従来技術の場合、10万倍にすると、試料位置での電子線の移動が多くて0.75 μ mにもなるので、検出器位置での移動量は1.1mm程度になって、エネルギースリットの幅より大きく移動してしまう。このため、従来技術では、測定終了後での計算機処理による補正なしでは、図6(b)に示すように、周辺で電子線が来ない視野カットが生じてしまうので、実時間での元素マッピング像の取得は困難になってしまう。

【0047】一方、本発明の実施形態では、上記したように、試料位置での電子線の移動が小さく抑えられ、検出器位置での移動量は、10万倍でも75 μ mと、エネルギースリット14の幅の10%程度に抑えられ、従って、図7(a)に示すように、100万倍位の高倍率では勿論、図7(b)に示すように、10万倍でも周辺までコ

ントラストが付けられた綺麗な元素マッピング像を長時間で容易に得ることができる。

【0048】次に、珪素ブラズモンロスを用いてコントラストを付け、階調化された画像を得るようにした場合の、この実施形態による元素マッピング像の取得動作について説明する。最初、スペクトル検出器16によりエネルギースペクトルを取り、測定すべきブラズモンロスピークがスペクトル検出器16の中央に来るように、加速管12に所定の電圧16Vを印加する。そして、次にマッピング検出器15とエネルギーリット14を入れる。

【0049】このときのエネルギースペクトルに対するエネルギーリット14の位置を、図4に24として示した。そして、マッピング検出器15の出力を画像表示装置に入力し、同じくグレイ階調表示させると、今度は、酸化物と窒化物の部分の中間調として階調化され、珪素の部分の白っぽく表示される。

【0050】従って、この場合でも、上記実施形態によれば、図6(a)に示すように、100万倍位の高倍率では勿論、同図(b)に示すように、10万倍でも周辺までコントラストが付けられた綺麗な元素マッピング像を長時間で容易に得ることができる。

【0051】次に、周知のコアロスを用いてコントラストを付けるようにした場合の、この実施形態によるマッピング方法について説明する。ここでは、試料5が窒化鉄とコバルトの積層体の場合について説明する。このとき、鉄のLエッジは、図5(a)に示す位置にある。最初、スペクトル検出器16により、図5(a)に示すコアロススペクトル25を測定し、ここで加速管12に所定の電圧を印加し、これにより、コアロスのエッジがスペクトル検出器16の中央に来るようにする。

【0052】そして、エネルギーリット14とマッピング検出器15を挿入するのであるが、ここで、このコアロスによるマッピングの場合は電子線強度が弱いので、エネルギーリット14の幅を20eV程度にする。このとき、図5(a)に示すように、試料5のコアロススペクトル25がブレエネルギーエッジとポストエネルギーエッジを持つので、これら2種の強度を測定する方法、いわゆる2ウインドウ方法を採用する。

【0053】このため、エネルギーリット14として2種のウインドウが必要なので、夫々のウインドウが20eVとなるように、10mm幅のエネルギーリットを2個準備する。このときのブレエネルギーリット位置が図5(a)の26で、ポストエネルギーリット位置が同じく27である。

【0054】また、これに応じて、マッピング検出器15も2個、要するので、ここでは、2個のシンチレータを厚さ0.1mmのアルミニウム板で分離し、各シンチレータの光を光ファイバーで夫々のフォトマル(光電子増倍管)に導くタイプの検出器を用いているが、マ

ルチチャンネルプレートアレイの出力を逐次加算して複数ウインドウ化する方式の検出器を用いても良い。

【0055】これらのエネルギーリット14とマッピング検出器15をスペクトル検出器16の前に入れ、ポストエッジ(高ロスエネルギー側)による検出出力と、ブレエッジ(低ロスエネルギー側)の検出出力とを演算装置に入力し、高エネルギー側の検出出力を、低エネルギー側の検出出力により逐次除算することにより、コアロスによるコントラストを付けることができ、演算結果を逐次画像表示装置に入力することにより、十分なコントラストを持った元素マッピング像を得ることができる。

【0056】ところで、この場合、検出器位置で電子線が25 μ m移動したとすると、この移動は、エネルギーで見ると、それが0.1eVずれたことに対応し、エネルギードリフトが生じてしまい、このため、従来技術では、10万倍のとき、エネルギーが4.5eV程度も移動することになる。

【0057】従って、従来技術では、コアロスエッジをポストエッジ側に5eV程度入り込んだ状態で測定しなければ、画像の周辺でブレエッジ側にコアロスエッジが入ってしまうことになり、視野の周辺でマッピングが正しく保たれなくなってしまうことになり、マッピング時のエネルギー分解能も、エネルギードリフトの影響で、5eV程度しか得られなくなってしまう。

【0058】一方、本発明の実施形態では、上記したように、検出器位置での電子線の移動が75 μ mに抑えられるため、エネルギー分解能も0.3eVにすることができ、コアロスマッピングによる解像度の高い元素マッピング像を容易に得ることができる。

【0059】ところで、上記したように、マッピング検出器15として、マルチチャンネルプレートアレイの出力を逐次加算して複数ウインドウ化する方式の検出器を用いた場合、低ロスエネルギー側の検出出力については、エネルギーの異なる2種の検出出力を取り出し、これらの検出出力として得られる2種の低ロスエネルギー電子線の強度から、高ロスエネルギー側の検出出力として得られる高ロスエネルギー電子線の強度を持つバックグラウンドを逐次演算する演算装置を設け、これによる演算結果を逐次、画像表示装置に供給する、いわゆる3ウインドウ方法としてもよい。

【0060】以下、この3ウインドウ方法による実施形態について説明すると、この実施形態の場合でも、データベースとしてのコアロスエネルギー(eV)、ウインドウ幅(チャンネル数)、ウインドウの間隔(チャンネル数)は、上記した2ウインドウ方法と同じ条件を維持し、ユーザが測定元素を指定することにより、加速管12にコアロスエネルギーに相当する電圧を印加する。

【0061】データベースの与えるウインドウ幅とウインドウ間隔を図5(b)に示すように、エネルギーリット14とマッピング検出器15に当て嵌め、EELSス

10

20

30

40

50

ベクトルを測定し、検出器固有のバックグラウンドとゲインを補正する。

【0062】図5(b)に示すように、コアロスより低エネルギー側の2個のウインドウ、すなわち、第1ブレウインドウ30と第2、ブレウインドウ31の電子線強度をパワーローモで($A \cdot E \cdot x p[-r]$)に従って演算し、コアロスよりも高エネルギー側のポストエネルギー側スリット位置27でのバックグラウンド32を演算する。

【0063】そして、このバックグラウンド32を、ポストエネルギー側スリット位置27における電子線強度から差し引いた結果を画像表示装置に表示するのである。この作業を走査コイル3による電子線の走査と同期して自動的に行い、実時間で元素分布像を取得する。このようにした実施形態によれば、定量的な元素分布像が得られるという利点がある。

【0064】なお、この定量化には、得られたコアロス強度を、ゼロロス強度と試料の膜厚により補正してやる必要があるが、この実施形態によれば、ゼロロス強度の測定と試料の膜厚分布の測定が、コアロス強度の測定と同時にできるため、1点の測定に必要な計測時間を2倍程度かけることにより、ゼロロス強度の測定と膜厚分布の測定を行い、補正することができる。

【0065】次に、本発明の他の実施形態について、図2により説明する。ここで、この図2の実施形態が、図1の実施形態と異なる点は、電子線源1から電子分光装置11までの電子線の経路における振り戻しコイル7の位置と、この振り戻しコイル7自体の構成にある。

【0066】すなわち、図1の実施形態では、振り戻しコイル7が対物レンズ4により形成された回折像の近傍に設けられていたが、この図2の実施形態では、2段の偏向コイルからなる振り戻しコイル7が用いられており、しかも、この振り戻しコイル7は、結像レンズ8による回折像の形成位置の近傍に設けられているものである。

【0067】電子線源1で発生した電子線を照射レンズ2で細い平行電子線にし、走査コイル3により偏向させ、試料5面上を走査できるようにする。対物レンズ4で試料5にフォーカスした電子線は、この対物レンズ4の下流で実像と回折像を形成する。ここで、実像の位置は電子線の走査により移動するが、電子線の角度は変化しない。一方、回折像の位置は電子線の走査によっても移動しないが、電子線の角度が変化する。

【0068】この対物レンズ4により形成された実像は、結像レンズ8で0.5倍にされるため、この結像レンズ8の下流での像は、試料5の位置の10倍に拡大されている。そして、この結像レンズ8の下流にも回折像を形成する面がある。そこで、この付近に2段の偏向コイルからなる振り戻しコイル7を配置したのが、この図2の実施形態であり、このように2段の振り戻しコイル

7を用いることにより、角度と位置の両方を戻すことができ、1段の振り戻しコイルを用いた場合よりも高い振り戻し精度を得ることができる。

【0069】従って、図1の実施形態と同じく、この図2の実施形態でも、振り戻しコイル7を走査コイル3と同期させ、電子線の角度が変化しないように偏向動作を行わせてやることにより、電子線の移動量を抑えることができ、この結果、電子線の移動量を充分に抑えた状態で元素マッピング像の取得を行うことができる。なお、この元素マッピング像の取得については、図1の実施形態と同じでよいので、詳しい説明は割愛する。

【0070】ここで、この図2の実施形態によれば、電子線の移動量を、例えば従来技術における移動量の10%以下に低減することができた。具体的に説明すると、試料5の位置での走査範囲が0.75 μm 、対物レンズ4の拡大率が20倍程度の場合、対物レンズ4の下流での移動量は15 μm になる。

【0071】そして、対物レンズ4の下流での像は、結像レンズ8で0.5倍されるため、結像レンズ8の下流での電子線の移動量17は、従来技術の場合、7.5 μm 程度となっていた。しかし、この図2の実施形態では、結像レンズ8の下流での電子線移動量を0.8 μm 程度に低減できた。

【0072】ここで、比較のため、1段の振り戻しコイルを適用した場合について示すと、この場合は、電子線移動量は1 μm 程度の低減にとどまっていた。但し、この場合でも、従来技術よりは格段に少ない移動量であることは、既に説明した通りである。

【0073】ここで、透過電子顕微鏡には、結像レンズの他にも中間レンズなどを対物レンズの下流に有する形式のものがあるが、このような電子顕微鏡の場合、上記図2の実施形態による2段の振り戻しコイルなら、対物レンズと電子分光器の間であればどこに配置しても同様の作用効果を得ることができる。一方、図1の実施形態による1段の振り戻しコイルの場合は、レンズにより再結像される回折像面付近に配置することにより同様の作用効果を得ることができる。

【0074】

【発明の効果】本発明によれば、例えば10万倍以下の倍率でも、視野の周辺でエネルギードリフトと視野制限を受けることがないので、エネルギー分解能の高いコントラスト補正像を測定とほぼ同時に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による走査透過型電子顕微鏡の一実施の形態を示す概略構成図である。

【図2】本発明による走査透過型電子顕微鏡の他の一実施の形態を示す概略構成図である。

【図3】従来技術による走査透過型電子顕微鏡の一例を示す概略構成図である。

【図4】エネルギーロス特性の一例を示すスペクトル図

である。

【図5】エネルギーロス特性の他の一例を示すスペクトル図である。

【図6】従来技術によるコントラスト補正像の一例を示す説明図である。

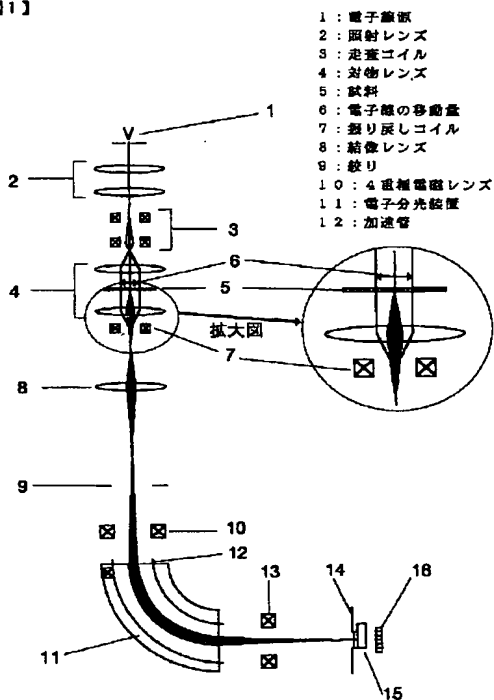
【図7】本発明によるコントラスト補正像の一例を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1 電子線源
- 2 照射レンズ
- 3 走査コイル
- 4 対物レンズ
- 5 試料
- 6 電子線の移動量
- 7 振り戻しコイル
- 8 結像レンズ
- 9 絞リ
- 10 4重極電磁レンズ
- 11 電子分光装置

【図1】

【図1】



- 13 : 4重極拡大電磁レンズ
- 14 : エネルギースリット
- 15 : マッピング検出器
- 16 : スペクトル検出器

* 12 加速管

13 4重極拡大電磁レンズ

14 エネルギースリット

15 マッピング検出器

16 スペクトル検出器

17 電子線の移動量

18 仮想光源の移動量

19 検出器上の移動量

20 珪素のプラズモンロススペクトル

10 21 窒化珪素のプラズモンロススペクトル

22 酸化珪素のプラズモンロススペクトル

23 エネルギースリット位置(窒化物/酸化物プラズモンロス測定時)

24 エネルギースリット位置(珪素プラズモンロス測定時)

25 コアロススペクトル

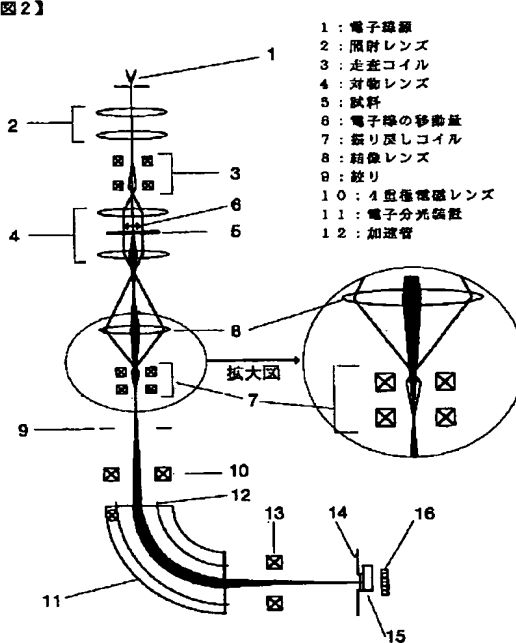
26 プレエネルギースリット位置

27 ポストエネルギースリット位置

*

【図2】

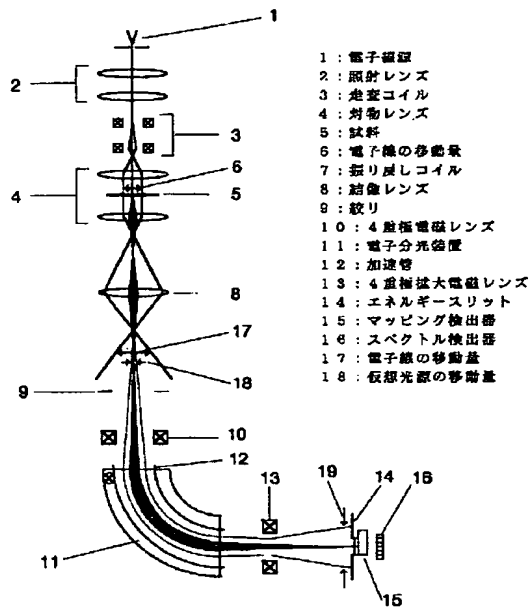
【図2】



- 13 : 4重極拡大電磁レンズ
- 14 : エネルギースリット
- 15 : マッピング検出器
- 16 : スペクトル検出器

【図3】

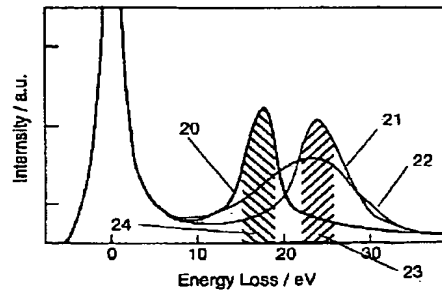
【図3】



【図4】

【図4】

シリコン、酸化シリコン、窒化シリコンの
プラズモンロススペクトル

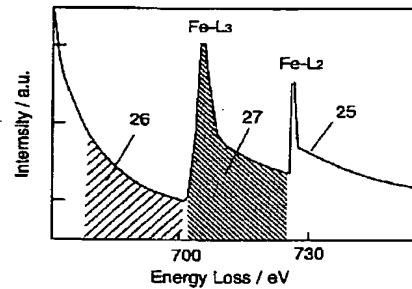


20 : シリコンのプラズモンロススペクトル
21 : 酸化シリコンのプラズモンロススペクトル
22 : 窒化シリコンのプラズモンロススペクトル
23 : エネルギースリット位置(酸化シリコン/酸化シリコンプラズモンロス測定時)
24 : エネルギースリット位置(シリコンプラズモンロス測定時)

【図5】

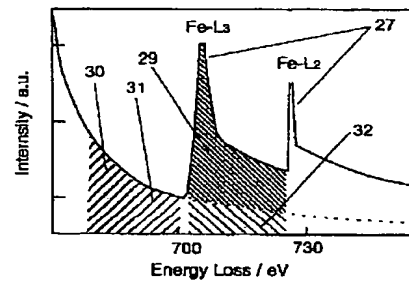
【図5】

(a) 鉄のコアロススペクトル



25 : コアロススペクトル
26 : プレエネルギースリット位置
27 : ポストエネルギースリット位置

(a) 鉄のコアロススペクトル

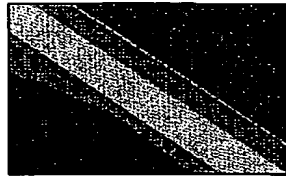


25 : コアロススペクトル
27 : ポストエネルギースリット位置
30 : 第1プレウインドウ
31 : 第2プレウインドウ
32 : バックグラウンド

【図6】

【図7】

【図6】



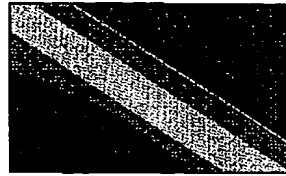
(a) 100万倍



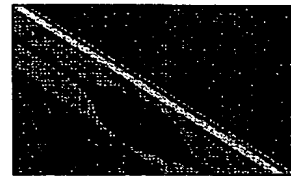
(b) 倍率10万倍

従来技術でのプラズモンマッピング観察例

【図7】



(a) 倍率100万倍



(b) 倍率10万倍

本発明を用いた装置でのプラズモンマッピング観察例

 フロントページの続き

(72)発明者 青山 隆
 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
 式会社日立製作所日立研究所内
 (72)発明者 田谷 俊陸
 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
 式会社日立製作所計測器グループ内

(72)発明者 砂子沢 成人
 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株
 式会社日立製作所計測器グループ内
 Fターム(参考) 5C033 AA05 EE02 EE03 FF02 FF03
 NN03 NP01 NP06 SS01 SS03
 SS04 SS07 SS08 UU05